

環境光の急変による視覚特性変化を考慮した 歩行者の視認性推定に関する予備検討

今枝 祐綺[†] 平山 高嗣[†] 川西 康友[†]

出口 大輔^{††} 井手 一郎[†] 村瀬 洋[†]

[†] 名古屋大学 大学院情報科学研究科 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

^{††} 名古屋大学 情報戦略室 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町

E-mail: †imaeday@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ddeguchi@nagoya-u.jp,

†{hirayama,kawanishi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 本報告では、環境光の急変時における歩行者の視認性推定手法を提案する。先進運転支援システム（ADAS）の構築に向けて、運転者から見た歩行者の視認性を推定する研究が注目を集めている。しかしながら、これまでの研究では運転者の知覚能力の低下を招く環境光の急変については考慮されていない。ひとたび環境光が急変すると順応時間に応じて運転者の視覚特性は変化する。そこで、順応時間に応じて異なる視認性推定器を利用する手法を提案する。提案手法の有効性を確かめるため、まず環境光の急変を再現した被験者実験を行ない、環境光の急変後の順応時間毎の歩行者の視認性の取得を行なった。その後、提案手法による歩行者の視認性推定を行ない、その有効性を確認した。
キーワード ITS, 運転支援, 視認性, 環境光, 視覚の順応

A Preliminary Study on Pedestrian Detectability Estimation Considering Visual Adaptation to Lighting Changes

Yuki IMAEDA[†], Takatsugu HIRAYAMA[†], Yasutomo KAWANISHI[†],

Daisuke DEGUCHI^{††}, Ichiro IDE[†], and Hiroshi MURASE[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan

^{††} Information Strategy Office, Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 464-8601 Japan

E-mail: †imaeday@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp, ††ddeguchi@nagoya-u.jp,

†{hirayama,kawanishi,ide,murase}@is.nagoya-u.ac.jp

Abstract In this report, we propose an estimation method of pedestrian detectability which considering visual adaptation to lighting changes. There are some studies on pedestrian detectability estimation to develop Advanced Driving Assistance Systems. However, these studies do not deal with extreme lighting changes which cause the degradation of detection performance by the driver. We assume that driver's visual characteristics change in proportion to the adaptation duration after lighting change, so we construct some estimators corresponding to the duration. The proposed method estimates the pedestrian detectability by switching them according to the duration. To evaluate the proposed method, we first constructed an experimental environment to present a subject such lighting changes and then conducted an experiment to measure and estimate the pedestrian detectability according to the adaptation duration.

Key words ITS, Driving Assistance, Detectability, Ambient Light, Visual Adaptation

1. はじめに

日本における交通事故死者数は年々減少しているものの、平成 27 年においても 4117 人に上る [1]。加えて、歩行中の死者数は 1534 人と 4 割近くを占め、対人事故の低減が大きな課題となっている。自動車の運転は認知・判断・操作の過程からなりたち、運転者の過失が原因の事故の 7 割は認知ミスに起因すると言われている [2]。そのため、対人事故防止において運転者の認知行動を補助することは非常に重要である。これまでに、自動車自身が車周囲の歩行者を検出する技術が数多く提案されている [3], [4]。この技術を応用することで、歩行者の存在を運転者に通知して認知ミスを防止したり、歩行者を迂回するような運転を支援することが可能となる。その一方で、運転への過度な干渉は安全運転を阻害する可能性がある。そのため、運転者から見て視認性が低い歩行者を検出し、歩行者の視認性に応じた歩行者の警告や迂回支援などを行なうことが必要となる。

歩行者の視認性を変化させる要因は、歩行者の見え、運転者の状態、周辺環境の 3 つに分類することができる [5]。歩行者の見えは運転者から見た歩行者の形状や色、動きなどを表し、歩行者の見えに基づき歩行者の視認性を推定する手法がいくつか存在する [6], [7]。運転者の状態は運転者自身の疲労や注意散漫、加齢による衰えなどを表し、Wegner らは飲酒状態において視覚的な認識能力が低下することを指摘している [8]。また我々は、運転時のサブタスクによる注意散漫が歩行者の発見タスクに与える影響について分析を行なった [9]。周辺環境は歩行者周辺の状況、天候、時間帯、道路状況などを表し、二反田らは道路状況が運転者の視覚的な認知負荷に関係することを指摘している [10]。

歩行者の視認性を変化させる周辺環境特性の中で、環境光の急変が視認性に与える影響は大きく、自動車教習所においても光への順応についての教程が存在するほどである。それにもかかわらず、環境光の急変を考慮した歩行者の視認性推定手法は提案されていない。生理学分野における知見に基づくと、例えば夜間運転時に対向車の前照灯が目に入った場合、まず強い光への順応が起こることで光量の多い環境に最適な感度に視覚が調整され、次に視界から前照灯が消えると、光量が減ることで一時的に視覚が奪われ、それから光量の少ない環境への順応が起こる。

環境光の急変時の影響について、Plainis らは視覚の順応機能が運転時に行なう役割について分析を行なっており [11]、周辺視野は中心視野と比べて順応速度が遅いことを明らかにし、周辺視野が重要となる運転行動への影響を指摘している。また、塚田らは環境光が急変した時の視覚のコントラストや色の感度、有効視野の範囲について研究を行なっており [12]、環境光への順応時間に応じて感度や有効視野が変化することを明らかにしている。これらの研究では Gabor パッチや LED などの単純な視覚刺激を用いた測定を行なっている。しかしながら、実際の運転環境において運転者にはより複雑な視覚情報が与えられるため、従来の研究で得られた知見を視認性推定にそのまま適用することは難しい。

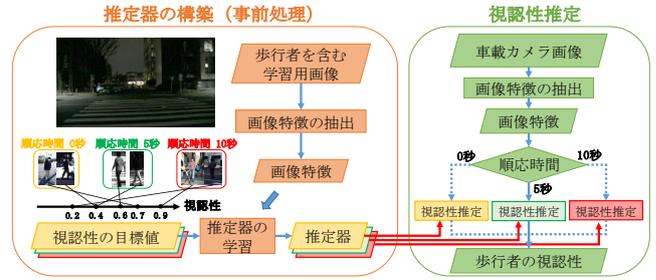


図 1 提案手法の処理の流れ (順応時間が 5 秒の例)

従来の歩行者の視認性推定手法は、環境光の急変を考慮していない。環境光の急変直後は視認能力は低下し、時間とともに順応が進み視認能力は回復することから、急変直後と以降では歩行者の視認性が変化すると考えられる。そこでこの影響を考慮するため、環境光への順応時間に応じて異なる推定器を用意し、適応的に推定器を切り替える推定手法を検討した結果について述べる。

2. 環境光の急変による視覚特性の変化を考慮した歩行者の視認性推定手法

歩行者の視認性は「歩行者の視認のしやすさ」を表し、運転者による歩行者検出の容易さを示す。従来の歩行者の視認性推定手法 [7] は、前方車載カメラ画像から抽出した様々な特徴量を説明変数、歩行者の視認性を目的変数とし、サポートベクタ回帰 (SVR) により歩行者の視認性推定を行なうものである。事前処理として、抽出した画像特徴と歩行者の視認性の関係を学習した推定器を構築する。推定段階では、車載カメラ画像から特徴量を抽出し、特徴量を構築した推定器に入力することで歩行者の視認性を推定する。

従来の手法では、事前処理として単一の推定器を構築している。しかし、1. で述べたように、運転者の視覚特性は環境光の急変後、順応時間に応じて変化するものと考えられる。そこで、まず運転時の環境光の急変を検知するセンサを設置することで、急変後の環境光への順応時間を測定する。次に、得られた環境光への順応時間に応じて推定器を切り替えて推定を行なう。こうすることで、環境光の急変による視覚特性の変化を考慮した歩行者の視認性推定を行なう。提案する視認性推定手法の流れを図 1 に示す。

2.1 特徴量抽出

本報告では、推定に用いる画像特徴として従来の視認性推定手法 [7] で用いられてきた特徴量を用いる。特徴量の一覧を表 1 に示す。

特徴量抽出に用いる歩行者領域及び歩行者周辺領域を図 2 に示す。画像中の歩行者の外接矩形を歩行者領域 p とし、 p を囲む $\frac{h}{2}$ だけ外側の領域を歩行者周辺領域 b とする。

a) 歩行者領域の縦幅、横幅 P_{width} , P_{height}

図 2 のように設定された歩行者領域 p の w, h をそれぞれ P_{width} , P_{height} とする。

b) 歩行者領域の輝度の標準偏差 $P_{\sigma(lum)}$

次式により歩行者領域 p の平均輝度 \bar{l}_p を計算する。

表 1 従来手法 [7] における特徴量

特徴の略記号	内容
P_{width}	歩行者領域の横幅
P_{height}	歩行者領域の縦幅
$P_{\delta(lum)}$	歩行者領域の輝度の標準偏差
$C_{\mu(lum)}$	歩行者と歩行者周辺領域の平均輝度の差
$C_{\mu(Lab)}$	歩行者と歩行者周辺領域の平均色 (L*a*b 色空間) の差
C_{edge}	歩行者と歩行者周辺領域のエッジ強度の差
$C_{hist(color)}$	歩行者と歩行者周辺領域の色ヒストグラムの差
$D_{(p,g)}$	歩行者と注視点の距離

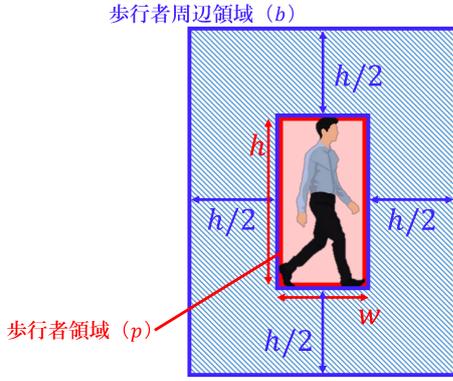


図 2 歩行者領域と歩行者周辺領域

$$\bar{l}_p = \frac{1}{n(p)} \sum_{(i,j) \in p} l_{(i,j)} \quad (1)$$

ここで、 $n(\cdot)$ は領域内の画素数を表し、輝度値 $l_{(i,j)}$ は各画素における RGB 成分の平均とする。その後、次式により $P_{\sigma(lum)}$ を計算する。

$$P_{\sigma(lum)} = \sqrt{\frac{1}{wh} \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h (l_{(i,j)} - \bar{l})^2} \quad (2)$$

c) 歩行者領域と歩行者周辺領域の平均輝度の差 $C_{\mu(lum)}$
式 (1) と同様に歩行者周辺領域 b の平均輝度 \bar{l}_b を計算する。その後、次式により $C_{\mu(lum)}$ を計算する。

$$C_{\mu(lum)} = |\bar{l}_p - \bar{l}_b| \quad (3)$$

ここで、 $|\cdot|$ は絶対値を表す。

d) 歩行者領域と歩行者周辺領域の平均色 (L*a*b*) の差 $C_{\mu(Lab)}$
次式により歩行者領域 p の L*a*b* 色空間における各成分の平均 \bar{v}_p と歩行者周辺領域 b の平均 \bar{v}_b を求める。

$$\bar{v}_p = \frac{1}{n(p)} \sum_{(i,j) \in p} v_{(i,j)} \quad (4)$$

$$\bar{v}_b = \frac{1}{n(b)} \sum_{(i,j) \in b} v_{(i,j)} \quad (5)$$

ここで、 $v_{(i,j)}$ は各画素の L*a*b* 色空間における各成分を要素とするベクトルである。その後、次式により $C_{\mu(Lab)}$ を計算する。

$$C_{\mu(Lab)} = \sqrt{\|\bar{v}_p - \bar{v}_b\|^2} \quad (6)$$

ここで、 $\|\cdot\|$ はベクトルの L2 ノルムを表す。

e) エッジ強度の差 C_{edge}

画像全体をグレースケール画像に変換し、Sobel フィルタを適用することでエッジ強度画像を取得する。次式により歩行者領域 p の平均エッジ強度 \bar{E}_p と歩行者周辺領域 b の平均エッジ強度 \bar{E}_b を計算する。

$$\bar{E}_p = \frac{1}{n(p)} \sum_{(i,j) \in p} E_{(i,j)} \quad (7)$$

$$\bar{E}_b = \frac{1}{n(b)} \sum_{(i,j) \in b} E_{(i,j)} \quad (8)$$

ここで、 $E_{(i,j)}$ はエッジ強度画像の各画素における値を表す。次式により C_{edge} を計算する。

$$C_{edge} = |\bar{E}_p - \bar{E}_b| \quad (9)$$

f) 色ヒストグラムの差 $C_{hist(color)}$

歩行者領域 p と歩行者周辺領域 b のそれぞれにおいて、RGB の各成分毎にヒストグラムを作成する。ヒストグラムの各ビンは、RGB の各値を均等に 16 分割したものとする。R, G, B の各ヒストグラムを連結して、歩行者領域の色ヒストグラム $H_{RGB}(p)$ 、歩行者周辺領域の色ヒストグラム $H_{RGB}(b)$ を作成した後、次式により $C_{hist(color)}$ を計算する。

$$C_{hist(color)} = d_{EMD}(H_{RGB}(p), H_{RGB}(b)) \quad (10)$$

ここで、 $d_{EMD}(H_1, H_2)$ は 2 個のヒストグラム間の Earth Mover's Distance を表す。

g) 歩行者と注視点との距離 $D_{(p,g)}$

運転者の現在の注視点と歩行者領域 p の重心と注視点位置 g との Euclid 距離を $D_{(p,g)}$ とする。

2.2 識別器の構築

前節で求めた特徴量を入力とし、SVR を用いて歩行者の視認性推定器を構築する。この時、順応時間毎に異なる推定器を構築し、推定段階ではこれらを順応時間に応じて切り替える。本報告では、RBF (Radial Basis Function) カーネルを用いる。

3. データセット構築

歩行者の視認性は人間の感覚に基づく尺度であり、真値を求めるのは困難であるため、被験者実験により目標値の取得を行なう。暗から明への順応に比べ、明から暗への順応の方が時間がかかることが知られている。このことから、明から暗への順応のほうが運転行動への影響が長く危険と考えられるため、本報告では暗から明への急変に着目し、暗い環境光への順応時間に応じた視認性を取得する。

具体的には、環境光の急変を発生させ、任意のタイミングで被験者に車載カメラ画像を瞬間提示 (0.5 秒) し、画像内の歩行者の発見率を歩行者の視認性の目標値として取得する。任意の順応時間における視認性を計測するため、瞬間提示法を用いる。また、瞬間提示の前に注視指標を提示し、0.5 秒という視線移動できない短時間でのみの画像提示を行なうことにより、被験者の視点を固定する。また、画像提示のタイミング以外の条



図3 データセット内の画像例



図4 実験装置内部の様子（実験中は装置全体が暗幕で覆われている）

件を統一することで、順応時間による影響を視認性の相対的な違いとして取得する。

3.1 画像セットの作成

被験者に提示する画像を用意するため、名古屋大学東山キャンパスにて薄暮時にデータ撮影を行なった。キャノン社製のiVIS HF G10を用いて一定時間の映像を撮影後、歩行者が1名のみ存在する系列から任意のフレームを抽出した。抽出したフレーム群に対して歩行者の外接矩形を手入力し、歩行者領域の真値を作成し、計51枚のセットを作成した。データセット内の画像例を図3に示す。

3.2 視認性の取得手順

環境光の急変を再現する装置と、車載カメラ画像を提示して視認性を取得するための装置を図4に示す。被験者実験の際には図4の装置を被験者と共に暗幕で覆うことで、実験装置内部に外部光が侵入しないように配慮した。画像の提示機器には、富士通社製のarrows Tab F-03Gを用いた。この機器は画素の輝度を厳密に制御することが可能な有機ELディスプレイを備え、タッチによる操作が可能である。また、光量の制御はPhilips社製のHue及びvolxjapan社製のGrassy LeDio RX122 FleshWhiteの2種類のLEDライトを用い、図4のように装置上部に設置した。以下に実験の具体的な手順を示す。

1. 装置内部を明るくし、30秒かけて被験者の目を明順応させる。
2. 歩行者が判別できない程度の低解像度に落とした画像を背景画像として提示する。
3. 注視指標「+」を提示し、被験者の視線を固定する。2.1で述べた $D_{(p,g)}$ の計算時にはこの注視指標の座標を注視

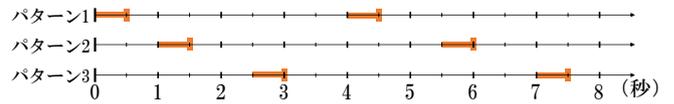


図5 画像提示タイミングのパターン

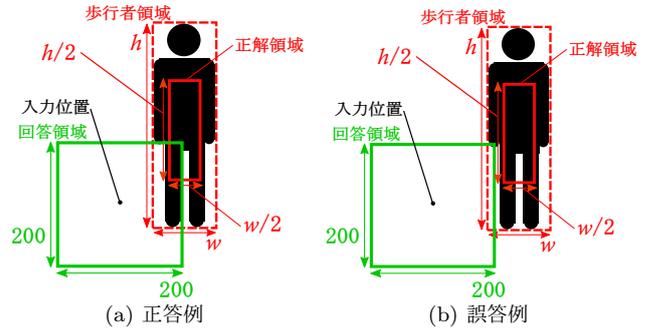


図6 歩行者位置の回答の評価方法

点 g とする。

4. LEDライトの電源を落とし、装置内部を明から暗に急変させる。
5. 一定のタイミングで車載カメラ画像を0.5秒間提示し、被験者に画像中の歩行者を発見させる。
6. 被験者に歩行者の位置を画面へのタッチで回答させる。発見できなかった場合は回答はさせない。
7. 注視指標「+」を再び提示し、(5)～(6)を再度繰り返す。

この手順を図5に示す3つのパターンで行なうことで、環境光が明から暗に急変してから0.5秒、1.5秒、3.0秒、4.5秒、6.0秒、7.5秒の計6つの順応時間における歩行者の視認性の取得を行なった。この時、明時は日没1時間前に相当する約1,000 lux、暗時は明時の1/100に相当する約10 luxの明るさに設定した。また、歩行者の探索行動を制限するため、注視指標は歩行者から視野角5度以内に表示した。

歩行者位置の回答の評価方法を図6に示す。歩行者領域の25%の領域を正解領域とし、入力位置を中心とした 200×200 画素（視野角換算で8度ほど）の正方形を回答領域とする。正解領域と回答領域に重なりがあれば正答、なければ誤答とした。回答の評価後、次式により視認性を計算した。

$$\text{歩行者の視認性} = \frac{\text{歩行者の位置を正答した被験者数}}{\text{総被験者数}} \quad (11)$$

3.3 視認性取得の結果

3.2節にて述べた方法に従い、4名の被験者（PCモニタを無理なく目視できる視力を有する20～30代）に対して被験者実験を行なった。被験者実験により得られた結果から画像セット内の歩行者の視認性の取得を行なった。

順応時間と歩行者の視認性の平均及び分散との関係を図7に示す。ここで、点は歩行者の視認性の平均を示し、分散を直線で表す。図7より、4.5秒まで視認性が上昇していき、それ以降はほとんど変化がないことがわかる。暗い環境への順応は、瞳孔を広げる対光反射と視細胞の1つである杆体の感度を上げる暗順応の2つの機能により行なわれる。対光反射は数秒、暗

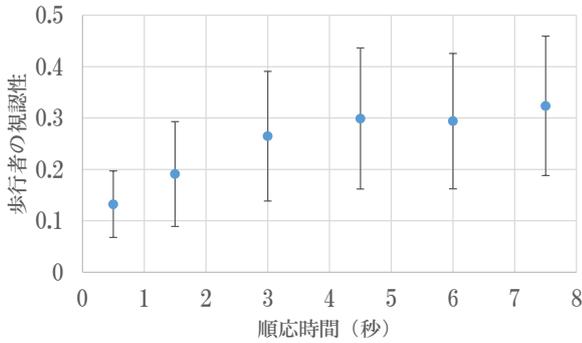


図7 歩行者の視認性の平均と順応時間の関係

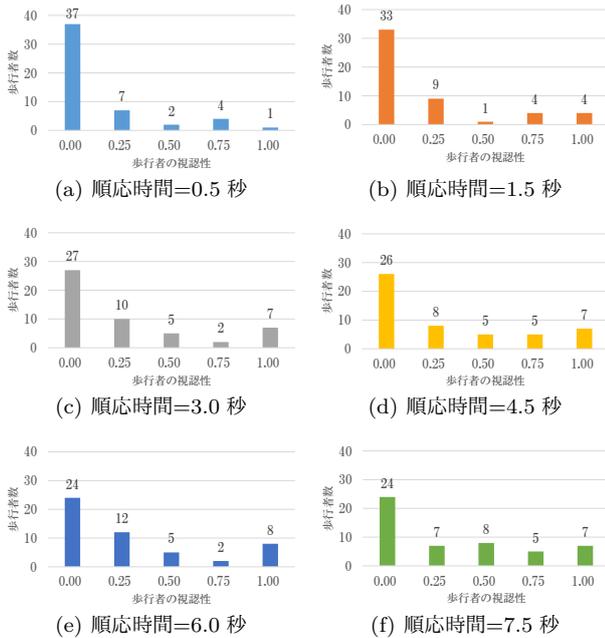


図8 歩行者の視認性の分布

順応は3~5分で完了するとされており [13], 図7の結果は対光反射による視認能力の回復が大きく反映されたものであることが推察される。

また, 各順応時間における歩行者の視認性の分布を図8に示す。順応時間が長いほど視認性が0である歩行者が減少していることが分かる。順応が進むことで視認能力が回復し, より多くの歩行者が発見できるようになったことが分かる。

4. 評価実験

本節では2.で説明した推定手法を用いて3.で取得した順応時間毎の歩行者の視認性を推定する実験を行ない, 提案手法の有効性を確認する。

4.1 実験手順

2.の手法を3.で得た視認性に適用するために, データセットを6つの順応時間毎に分割し, 別々の推定器の学習を行ない, 順応時間毎の視認性推定器を構築した。推定精度の検証のために leave-one-person-out 法を適用し, 評価指標として目標値と推定値の平均2乗誤差を用いた。本実験では2つの手法を評価した。1つ目は, 順応時間に対応した推定器で視認性推定を行

表2 実験結果 (評価指標: 目標値と推定値の平均2乗誤差)

順応時間 (秒)	0.5	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	平均
提案手法	0.069	0.108	0.134	0.144	0.140	0.141	0.123
比較手法	0.066	0.110	0.153	0.177	0.169	0.185	0.134

なう提案手法である。2つ目は順応時間でのデータセットの分割を行わずに単一の推定器を構築して推定を行なう比較手法であり, 6つの順応時間における視認性を全て推定器の構築に用いる。

4.2 実験結果

評価実験の結果を表2に示す。平均に着目すると, 比較手法に比べて提案手法の推定誤差は少なく, 提案手法による視認性推定の精度向上が確認できる。

4.3 考察

順応時間毎の誤差に着目すると, 順応時間が0.5秒及び1.5秒の場合は両手法ともに精度が高く大きな違いが無いが, 順応時間が3.0秒以降の場合に推定精度が大きく向上していることがわかる。図8に着目すると, 順応時間が0.5秒と1.5秒ではデータセット内の歩行者の視認性に特に大きな偏りが存在する。この偏りによって推定器の学習を十分に行なうことができなかったことが原因と考えられる。

5. 特徴量の貢献度の分析

次に, 順応時間ごとに構築した各推定器における特徴量の貢献度の分析を行なう。具体的には, 8つの特徴量の中から2つを選び, それらを用いて順応時間ごとの推定器を構築して推定精度を評価する。この操作を全ての特徴量の組み合わせについて ($8C_2 = 28$ 通り) 行ない, 推定精度により特徴量の組み合わせの順位付けを行なう。順位付けの結果を表3に示す。

表3より, 順応時間が3.0秒以降の推定器では同じ特徴量の組み合わせが上位に来る傾向が読み取れる。このことから, 環境光の急変後3.0秒までは視覚特性が大きく変化し, 3.0秒~7.5秒までの視覚特性の変化は小さいことが推察される。

また, 順応時間が3.0秒以降の推定器では $C_{\mu(\text{lum})}$ や $C_{\mu(\text{Lab})}$ の貢献度が高いのに対し, 順応時間0.5秒及び1.5秒の推定器では C_{edge} が貢献する傾向が読み取れる。塚田らは, 環境光の急変などの緊急時において, 視覚系は色情報より輝度情報を優先させるという仮説を述べており [12]。歩行者の周辺との色のコントラストを抽出した $C_{\mu(\text{Lab})}$ が順応時間0.5秒や1.5秒の推定器での貢献度が低いという結果は, この仮説を支持するものであると考えられる。また, 環境光の急変直後はコントラスト感度が大きく低下することが分かっており [12], 急変直後の推定器では $C_{\mu(\text{lum})}$ よりも C_{edge} が貢献している理由の1つと考えられる。

6. むすび

本報告では, 環境光の急変時に歩行者の視認性推定を行なう手法について検討した。具体的には, 運転者周辺の環境光の急変を検出し, 順応時間に応じて推定器を切り替えることで歩行者の視認性を推定する手法を提案した。提案手法の有効性を確

表 3 2 つの特徴量の全ての組み合わせにおける推定精度の順位 (数値は推定誤差を表す)

順位	順応時間 (秒)					
	0.5	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5
1	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\text{edge}}$ 0.047	$C_{\mu(\text{Lab})}, C_{\text{edge}}$ 0.060	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{lum})}$ 0.633	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{lum})}$ 0.084	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{lum})}$ 0.081	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{lum})}$ 0.059
2	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{lum})}$ 0.052	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\text{edge}}$ 0.061	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{Lab})}$ 0.067	$P_{\text{height}}, C_{\mu(\text{Lab})}$ 0.103	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{Lab})}$ 0.087	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{Lab})}$ 0.083
3	$P_{\text{width}}, C_{\text{edge}}$ 0.059	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{Lab})}$ 0.069	$P_{\text{width}}, C_{\text{edge}}$ 0.071	$P_{\delta(\text{lum})}, C_{\mu(\text{Lab})}$ 0.106	$P_{\text{height}}, C_{\mu(\text{Lab})}$ 0.107	$P_{\text{width}}, C_{\text{edge}}$ 0.104

かめるために、環境光の急変を再現し、順応時間に応じた歩行者の視認性の取得を行ない、それらを用いて順応時間に応じた別々の推定器を構築した。取得した視認性のデータセットを用いた評価実験により、単一の推定器を用いる従来の手法に比べて高い精度での歩行者の視認性推定が可能であることを確認した。また、各特徴量の推定への貢献度の分析も行ない、急変直後は色に関する特徴よりも輝度に関する特徴の方が貢献度が高く、生理学の知見と合致することを明らかにした。今後の課題として、生理学的知見に基づく新しい特徴量の導入や大規模なデータセットの構築などが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金による。本報告中の被験者実験に協力を頂いた皆様に感謝する。

文 献

- [1] 警視庁, “平成 27 年における交通事故の発生状況,” <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001150496>, Mar. 2016. (2016/08/23 参照).
- [2] 交通事故総合分析センター, 歩行者死亡事故は自動車直進中に多く発生, no.94, イタルダ・インフォメーション, 交通事故総合分析センター, Apr. 2012.
- [3] P. Viola, M.J. Jones, and D. Snow, “Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance,” *Int. J. of Computer Vision*, vol.63, no.2, pp.153–161, July 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11263-005-6644-8>
- [4] H. Rohling, S. Heuel, and H. Ritter, “Pedestrian detection procedure integrated into an 24 GHz automotive radar,” *Proc. 2010 IEEE Radar Conf.*, pp.1229–1232, May 2010.
- [5] 谷繁龍之介, 道満恵介, 出口大輔, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋, “運転時の人間の視野特性を考慮した歩行者の見落としやすさ推定手法,” *信学論 (D)*, vol.J99-D, no.1, pp.56–66, Jan. 2016.
- [6] M. Wakayama, D. Deguchi, K. Doman, I. Ide, H. Murase, and Y. Tamatsu, “Estimation of the human performance for pedestrian detectability based on visual search and motion features,” *Proc. 21st Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp.1940–1943, Jan. 2012.
- [7] R. Tanishige, D. Deguchi, K. Doman, Y. Mekada, I. Ide, and H. Murase, “Prediction of driver’s pedestrian detectability by image processing adaptive to visual fields of view,” *Proc. 17th IEEE Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems*, pp.1388–1393, Oct. 2014.
- [8] A.J. Wegner and M. Fahle, “Alcohol and visual performance,” *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, vol.23, no.3, pp.465–482, Apr. 1999.
- [9] 今枝祐綺, 谷繁龍之介, 平山高嗣, 出口大輔, 井手一郎, 村瀬洋, “運転時のサブタスクが歩行者の見落としやすさに与える影響の検討,” 2015 年通信学総大講演論文集, p.239, Mar. 2015.
- [10] 二反田直己, 坂東誉司, 公文宏明, 宮原孝行, 玉津幸政, “走行環境における視認負荷量推定法,” 第 14 回画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp.697–702, July 2011.

- [11] S. Plainis, I.J. Murray, and W.N. Charman, “The role of retinal adaptation in night driving,” *Optometry & Vision Science*, vol.82, no.8, pp.682–688, Aug. 2005.
- [12] 塚田由紀, 豊福芳典, 青木義郎, “順応光の明るさが急変したときの視覚特性,” *交通安全環境研究所報告*, vol.8, pp.31–41, Dec. 2005.
- [13] W.A.H. Rushton, “Rhodopsin measurement and dark-adaptation in a subject deficient in cone vision,” *J. Physiology*, vol.156, no.1, pp.193–205, Apr. 1961.